Jb. nass. Ver. Naturkde. **122** S. 43–58 7 Abb. 6 Tab. Wiesbaden 2001

Ist der Klimawandel auch in Wiesbaden und im Taunus feststellbar?

WOLFGANG EHMKE

Klima, Klimawandel, Lufttemperaturen, Niederschläge, Phänologie, Wiesbaden, Taunusstein, Taunus, Hessen

Kurzfassung: Mittels eigener Wetterbeobachtungen und der Auswertung von Wetterdaten aus Wiesbaden und Frankfurt am Main wird das Klima im westlichen Taunus und in der nördlichen Oberrheinebene charakterisiert. Der Temperaturanstieg und die Veränderungen der Niederschlagsstruktur seit 1951 werden beschrieben und die Verfrühung der phänologischen Jahreszeiten dargestellt.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Der Klimawandel ist in aller Munde. Nach jüngsten UN-Daten (Intergovernmental Panel on Climate Change 2001) erhöhen sich die Temperaturen auf der Erde weitaus dramatischer als bislang angenommen. Auch gab es mehr und bessere Beweise als je zuvor dafür, dass die Veränderungen weitgehend auf Aktivitäten des Menschen zurückzuführen sind. Das Jahr 2000 war in Deutschland das wärmste Jahr des vergangenen Jahrhunderts (Deutscher Wetterdienst 2001). Es wird hier geklärt, ob auf der Grundlage verfügbarer meteorologischer Messreihen von Wiesbaden und Taunusstein der Klimawandel auch im Bereich des westlichen Taunus bestätigt werden kann.

2 Die Ausgangslage: Charakterisierung des Klimas in Wiesbaden und Taunusstein

Die hier betrachtete Wetterstation in Wiesbaden-Süd ist eine Klimahauptstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und verfügt über eine langjährige Messreihe mit Beginn im 19. Jahrhundert. Sie liegt im südwestlichen Stadtgebiet in einer Höhe von 145 Meter über Normalnull und ist typisch für die Randlagen des nördlichen Oberrhein-Tieflandes.

Dagegen wird die Wetterstation in Taunusstein von mir als Mitglied des Verbandes deutschsprachiger Amateurmeteorologen (VdA) privat betrieben. Sie liegt im Ortsteil Bleidenstadt in 380 Meter über Normalnull am Nordabhang des Hochtaunus. Eine kontinuierliche Messreihe liegt seit 1987 vor. Die davor ermittelten Monatswerte wurden – zurückgehend bis 1951 – nach den üblichen Reduktionsverfahren des DWD berechnet (vgl. auch EHMKE 1996). Bezüglich der Klimaverhältnisse im weiteren westlichen Taunus wird auf EHMKE (1989) verwiesen.

2.1 Lufttemperaturen

Die Jahresmitteltemperaturen in 2 Meter Höhe über dem Boden zeigen an beiden Orten einen ähnlichen Verlauf, allerdings – bedingt durch die unterschiedliche Höhenlage – auf verschiedenem Niveau (Abbildung 1). In Taunusstein liegen sie etwa 1,5 °Celsius tiefer als in Wiesbaden. Dies entspricht ziemlich genau dem Höhengradienten, der bei einer Zunahme der Meereshöhe um 100 Meter zu einer Abnahme der Jahresmitteltemperatur von etwa 0,6 °C führt. Das kälteste Jahr seit

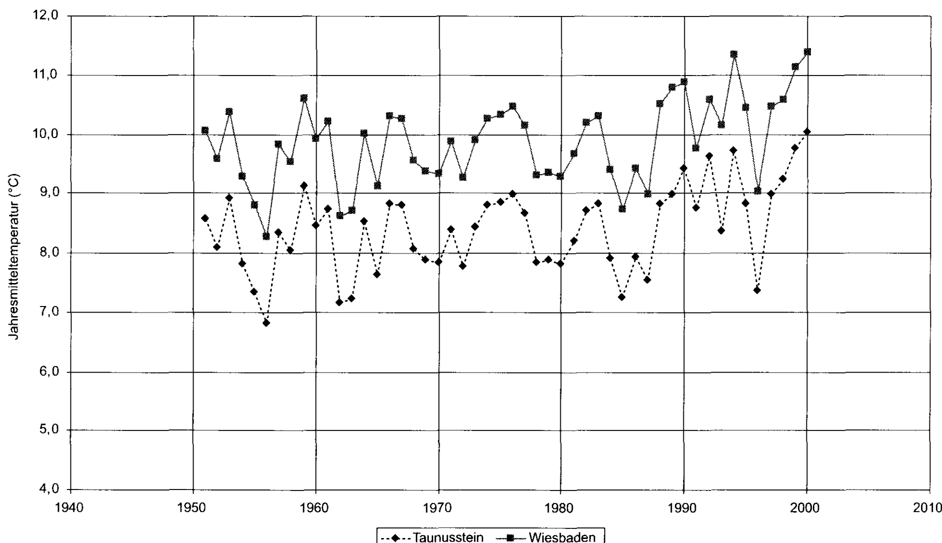


Abbildung 1: Jahresmittel Temperatur Wiesbaden und Taunusstein 1951 bis 2000

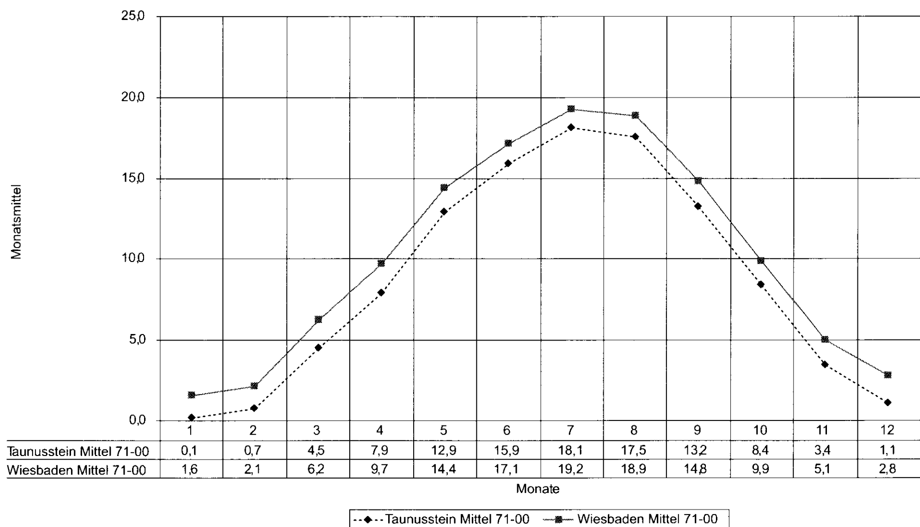
Tabelle 1: Jahresmittel der Lufttemperatur Wiesbaden und Taunusstein 1951 bis 2000

Jahr	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958
Taunusstein	8,6	8,1	8,9	7,8	7,3	6,8	8,3	8,1
Wiesbaden	10,1	9,6	10,4	9,3	8,8	8,3	9,8	9,5
Jahr	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
Taunusstein	9,1	8,4	8,7	7,1	7,2	8,5	7,6	8,8
Wiesbaden	10,6	9,9	10,2	8,6	8,7	10,0	9,1	10,3
Jahr	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Taunusstein	8,8	8,1	7,9	7,8	8,4	7,8	8,4	8,8
Wiesbaden	10,3	9,6	9,4	9,3	9,9	9,3	9,9	10,3
Jahr	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Taunusstein	8,8	9,0	8,7	7,8	7,9	7,8	8,2	8,7
Wiesbaden	10,3	10,5	10,2	9,3	9,4	9,3	9,7	10,2
Jahr	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Taunusstein	8,8	7,9	7,3	7,9	7,5	8,8	9,0	9,4
Wiesbaden	10,3	9,4	8,7	9,4	9,0	10,5	10,8	10,9
Jahr	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Taunusstein	8,8	9,6	8,4	9,7	8,8	7,4	9,0	9,2
Wiesbaden	9,8	10,6	10,2	11,3	10,5	9,0	10,5	10,1
Jahr	1999	2000			**Mittel 51-00**			
Taunusstein	9,8	10,0			**8,7**			
Wiesbaden	11,1	11,4			**10,2**			

1951 war an beiden Orten das Jahr 1956 mit einem Mittel von 8,3 °C in Wiesbaden und 6,8 °C in Taunusstein. Das wärmste Jahr war 2000 mit 11,4 °C in Wiesbaden und 10,0 °C in Taunusstein.

Zwei Dinge sind an dem Kurvenverlauf bemerkenswert: als besonders warm empfundene Jahre, die sich teilweise auch den Weinkennern als gute Weinjahrgänge eingeprägt haben (besonders 1953, 1957, 1959, 1967, aber auch 1976 und 1983), fallen in der Gesamtübersicht im Vergleich zu den 90er-Jahren nicht durch besonders hohe Werte auf. Zum anderen springt die Häufung überdurchschnittlicher Jahresmittelwerte ab 1988 ins Auge. Der Mittelwert der 30-jährigen Normalperiode von 1971–2000 beträgt in Wiesbaden-Süd 10,1 °C, in Taunusstein 8,7 °C. Alle Jahresmittel beider Stationen ab 1988 liegen über diesem Mittel! Ausnahmen hiervon bilden lediglich die Jahre 1996 (an beiden Orten) sowie 1991 in Wiesbaden und 1993 in Taunusstein. Hier gibt es also den ersten Hinweis auf anormal steigende Temperaturen, dem im nächsten Abschnitt gefolgt werden soll.

Die Abbildung 2 zeigt die Folge der Monatsmittel im Jahresverlauf. Interessant ist, dass in Taunusstein während der letzten Normalperiode 1971–2000 kein einziges Monatsmittel mehr unter 0 °C auftaucht. In der Periode 1961–1990 lag immerhin noch der Januar mit -0,2 °C unter Null.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taunusstein Mittel 71-00	0,1	0,7	4,5	7,9	12,9	15,9	18,1	17,5	13,2	8,4	3,4	1,1
Wiesbaden Mittel 71-00	1,6	2,1	6,2	9,7	14,4	17,1	19,2	18,9	14,8	9,9	5,1	2,8

Abbildung 2: Klimadiagramm der Monatsmitteltemperaturen Wiesbaden und Taunusstein 1971 bis 2000

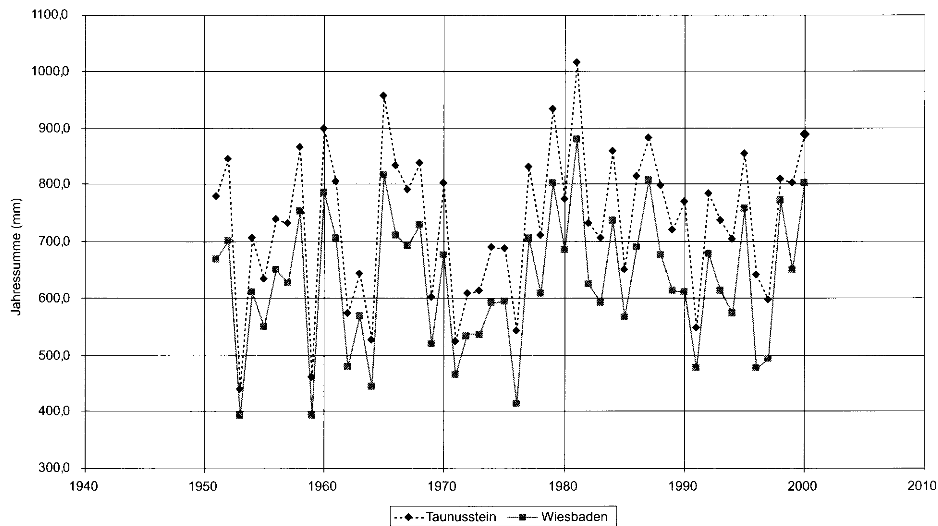


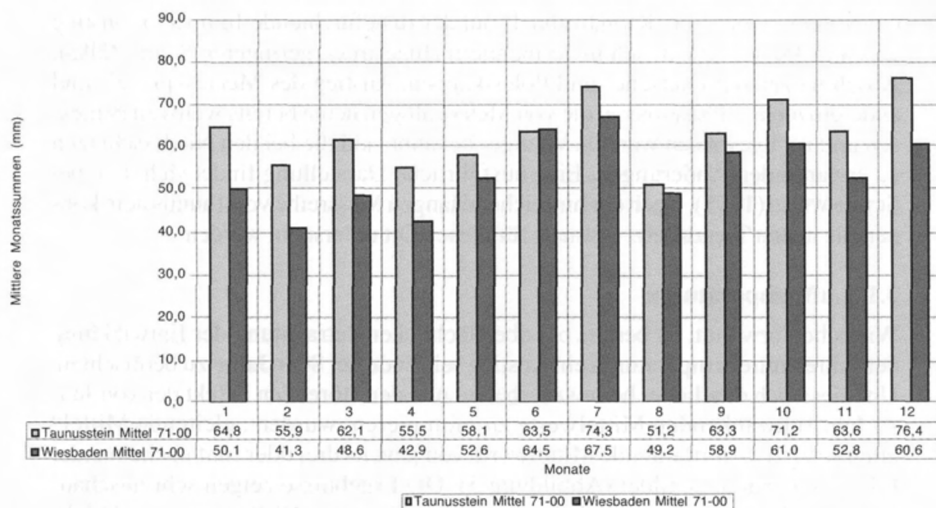
Abbildung 3: Jahressummen Niederschlag Wiesbaden und Taunusstein 1951 bis 2000

2.2 Niederschläge

Wie die Abbildung 3 zeigt, weisen die Jahresniederschläge im Gebiet große Schwankungen auf. Die Extreme liegen in Wiesbaden zwischen knapp 400 Millimeter in trockenen Jahren und über 800 Millimeter in nassen Jahren. In Taunusstein reicht die Spanne von etwa 450 Millimeter in besonders trockenen Jahren zu über 1000 Millimeter im nassesten Jahr 1981.

Die mittlere Jahressumme der Normalperiode 1971–2000 beträgt in Wiesbaden 650 Millimeter, in Taunusstein 760 Millimeter.

Bei Betrachtung der Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf (Abbildung 4) gibt es nun erstmals deutliche Unterschiede zwischen den beiden Orten. Während Wiesbaden-Süd mit den Monatsmaxima im Juni und Juli ein deutliches Sommer-



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taunusstein Mittel 71-00	64,8	55,9	62,1	55,5	58,1	63,5	74,3	51,2	63,3	71,2	63,6	76,4
Wiesbaden Mittel 71-00	50,1	41,3	48,6	42,9	52,6	64,5	67,5	49,2	58,9	61,0	52,8	60,6

Abbildung 4: klimadiagramm der mittleren Monatssummen der Niederschläge Wiesbaden und Taunusstein 1971 bis 2000

maximum zeigt, sind die Sommerregenfälle in Taunusstein schwächer ausgeprägt. Dort ist der Dezember der Monat mit den höchsten Niederschlägen, allerdings knapp gefolgt vom Juli. Fasst man die jahreszeitlichen Niederschlagssummen zusammen (Juni, Juli, August für den Sommer; Dezember bis Februar für den Winter), wird der Unterschied noch deutlicher: in Taunusstein stellt sich ein Verhältnis der Sommer- zu den Winterniederschlägen von 0,95 : 1 ein, in Wiesbaden dagegen von 1,20 : 1. Mit anderen Worten: im Taunus sind die Winterniederschläge höher als die des Sommers; im Oberrhein-Tiefland ist es umgekehrt. Nach dem Grad der hygrischen Kontinentalität, also dem Quotienten von Sommer- zu Winterniederschlägen, wäre demnach der Taunus als schwach ozeanisch und die Rheinebene als schwach kontinental zu bezeichnen.

Es kann also festgehalten werden, dass – wie zu erwarten – das Klima in Taunusstein deutlich kühler und feuchter ist als in Wiesbaden. Dies ist bedingt einerseits durch die unterschiedliche Höhenlage und andererseits durch die verschiedene Exposition. Während Wiesbaden nach Süden zur kontinental getönten Rheinebene exponiert ist, wird Taunusstein sehr viel mehr von Wetterlagen tangiert, die feucht-kühle Luftmassen aus West bis Nord heranführen und somit zu einer ozeanischen Tönung seines Klimas beitragen.

Die Beschreibung anderer Klimaelemente wie Bewölkung, relative Luftfeuchte, Schwüle, Phänologie usw. findet sich in EHMKE (1996).

3 Der Klimawandel – woran wird er sichtbar?

Gemeinhin wird unter „Klimawandel" nur der zu befürchtende Temperaturanstieg gesehen. Dieser äußert sich in vermehrtem Hitzestress, geringeren Schneefällen, Abschmelzen der Gletscher und Poleiskappen, Anstieg des Meeresspiegels und anderem mehr – Phänomene, die von Meteorologen heute bereits weltweit gemessen und nachgewiesen werden. Weniger bekannt sind die bei den Niederschlägen zu erwartenden Änderungen. Eine ausführliche Darstellung findet sich u. a. bei SCHÖNWIESE (1995). Nach der hinreichend langen Messreihe von Taunusstein können die neuen Trends jetzt erstmals für diesen Ort untersucht werden.

3.1 Lufttemperaturen

Wie schon erwähnt, ist bereits bei oberflächlicher Betrachtung der Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen ein Anstieg seit Ende der 80er-Jahre zu beobachten. Um dies noch deutlicher herauszuarbeiten und den störenden Effekt der von Jahr zu Jahr schwankenden Mittelwerte zu minimieren, wurden „gleitende Mittel" eingesetzt, d. h. fortlaufende Mittelwerte von jeweils drei oder fünf nacheinander folgenden Jahren gebildet (Abbildung 5). Die Ergebnisse zeigen sehr anschaulich, dass das Temperaturgeschehen in unserer Region in Wellen mit ca. acht Jahren Abstand abläuft. Nach einer drei- bis vierjährigen Phase wärmerer Jahre folgt eine etwa gleich lange Phase kühlerer Jahre. Seit 1987/1988 ist dieser fast gleichförmige Wellenverlauf aber gestört, indem nämlich die gleitenden Temperaturmittel auf einem hohen Niveau verharren und – zumindest bei den dreijährigen Mitteln – zuletzt einen Sprung nach oben machen. Dies ist die lokale Bestätigung des Klimawandels, wie er vom Deutschen Wetterdienst (DWD 2001) nach den extrem warmen Jahren 1998 und 2000 europaweit ausgemacht wurde.

Eine weitere Möglichkeit, den Klimawandel auch bei uns zu belegen, zeigt die Abbildung 6. Um auch die wellenförmigen Schwankungen der gleitenden Temperaturmittel auszugleichen, wurden 10-jährige Mittel errechnet. Diese sollten im Normalfall nur geringfügigen Schwankungen unterliegen, da sich Extremjahre im 10-Jahres-Zeitraum noch stärker ausgleichen als bei kürzeren Mittelungsintervallen. Bis zur vorletzten Dekade (1981–1990) ist das auch noch der Fall, wenngleich hier schon ein leichter Anstieg von etwa 0,3 °C zu verzeich-

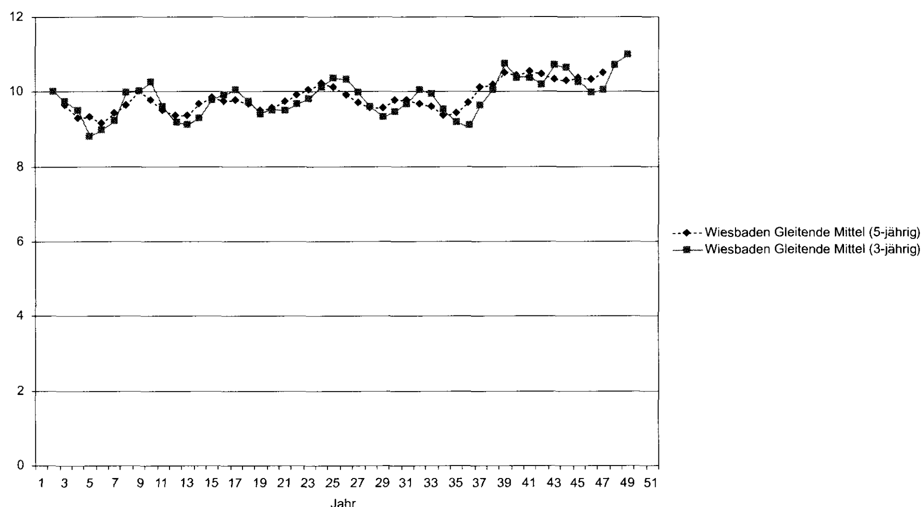
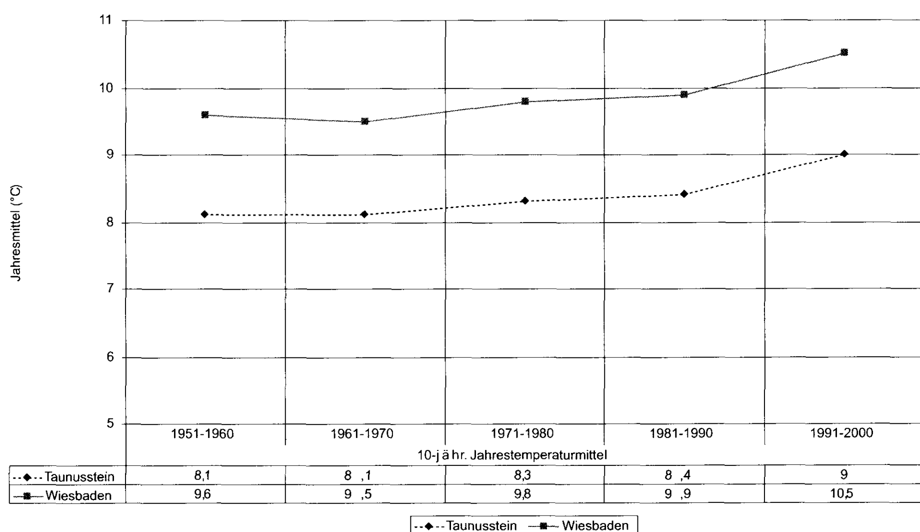


Abbildung 5: Gleitende Temperatur-F-Mittel Wiesbaden (1951–2000)



	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Taunusstein	8,1	8 ,1	8,3	8 ,4	9
Wiesbaden	9,6	9 ,5	9,8	9 ,9	10,5

Abbildung 6: 10-jährige Jahrestemperaturmittel Wiesbaden und Taunusstein

nen ist. Unübersehbar wird aber der Sprung zur letzten Dekade seit 1991 mit einem plötzlichen Zuwachs um 0,6 °C gegenüber der vorhergehenden Dekade bzw. um 0,9 °C gegenüber der Dekade 1951–1960. Dem Laien mag dieser Unterschiedsbetrag gering erscheinen; für den Meteorologen liest sich das wie eine Fieberkurve!

In diesem Zusammenhang wird auch interessant, ob und welche Änderungen sich bei den Monatstemperaturen ergeben haben (Tabelle 2). Ein Vergleich der Taunussteiner Monatsmittel in der Normalperiode 1951–1980 mit der Periode 1971–2000 zeigt in allen Monaten außer Juni Temperaturveränderungen. Bezeichnenderweise sind dies mit Ausnahme des Februars (0,4 °C kälter als früher) alles Temperaturanstiege. Am größten fällt der Anstieg beim August aus; er ist in der letzten Periode um 1 °C wärmer geworden als früher, knapp gefolgt vom Juli und Dezember mit jeweils 0,9 °C Anstieg. In Wiesbaden liegen die Werte ähnlich, wobei der August sogar 1,1 °C und der Dezember 1,0 °C wärmer sind als im Mittel 1951–1980. Der Klimawandel kommt also hauptsächlich durch heißere Hochsommer und mildere Dezember zustande; die Abkühlung im Februar schlägt dagegen kaum zu Buche.

3.2 Niederschläge

Bei Anwendung der Methode des „gleitenden Mittels" auf die Jahressummen der Niederschläge ergibt sich ein anderes Bild als bei den Temperaturen (Abbildung 7). Es fehlen die sich ähnelnden Wellen, also die regelmäßige Häufung gleichartiger Jahreswerte. Allerdings ist zu erkennen, dass es von 1969 bis 1976 eine Häufung trockener Jahre und von 1979 bis 1987 eine Häufung nasser Jahre gab. Danach folgt eine normale Mischung trockener und nasser Jahre. Der jüngste Anstieg bei den 3-jährigen gleitenden Mitteln kann noch nicht als anormal angesehen werden, weil der Betrachtungszeitraum dafür noch zu kurz ist. Auch bei den 5-jährigen gleitenden Mitteln ist noch keine Reaktion zu erkennen.

Gravierende Umstellungen sind aber bei den Monatsmitteln zu konstatieren (Tabelle 2). Vier Monate weisen in der letzten Normalperiode 1971–2000 in Taunusstein geringere Niederschläge als 1951–1980 auf: am deutlichsten der August mit einem Minus von 18,5 Millimeter, danach November und Juni mit 9 bzw. 7 Millimeter und Juli mit 1 Millimeter weniger Niederschlag. Alle anderen Monate zeigen gestiegene Niederschlagsmengen, am deutlichsten der Oktober mit 25 Millimeter und der September mit 15 Millimeter Steigerung. In der Jahresbilanz ergibt sich eine Steigerung von 45 Millimeter gegenüber 1951–1980. In der Tendenz haben sich die Sommerniederschläge deutlich verringert zugunsten vor allem der Herbst- und Winterniederschläge. Dies zeigt, dass die oben dargelegte ozeanische Tönung des Taunussteiner Klimas sich erst in den letzten 30 bis 40 Jahren ausgeprägt entwickelt hat. In Wiesbaden ist dieselbe Entwicklung – allerdings auf geringerem Niveau – festzustellen. Auch das Wiesbadener Klima wurde weniger kontinental; die Jahressummen stiegen im Durchschnitt um 35 Millimeter an.

Tabelle 2: 30-jährige Monatsmittel von Temperatur und Niederschlag Wiesbaden und Taunusstein

1. TAUNUSSTEIN

	Temperaturen (°C)				Niederschläge (mm)			
Monat	Mittel 51-80	Mittel 61-90	Mittel 71-00	Änderung	Mittel 51-80	Mittel 61-90	Mittel 71-00	Änderung
1	–0,5	–0,2	0,1	0,6	56,2	62,0	64,8	8,6
2	1,1	0,8	0,7	–0,4	53,2	54,3	55,9	2,7
3	3,7	4,1	4,5	0,8	50,5	59,2	62,1	11,6
4	7,5	7,2	7,9	0,4	50,7	50,0	55,5	4,8
5	12,2	12,4	12,9	0,7	56,4	64,0	58,1	1,7
6	15,9	15,6	15,9	0,0	70,0	68,7	63,5	–6,5
7	17,2	17,5	18,1	0,9	75,0	74,4	74,3	–0,7
8	16,5	16,8	17,5	1,0	69,7	58,3	51,2	–18,5
9	13,0	12,9	13,2	0,2	48,1	53,5	63,3	15,2
10	8,3	8,4	8,4	0,1	46,2	60,3	71,2	25,0
11	3,2	3,3	3,4	0,2	72,2	67,4	63,6	–8,6
12	0,2	1,1	1,1	0,9	66,9	70,3	76,4	9,5
Jahr	8,2	8,3	8,7	0,5	715,1	742,3	759,9	44,8

2. WIESBADEN

	Temperaturen (°C)				Niederschläge (mm)			
Monat	Mittel 51-80	Mittel 61-90	Mittel 71-00	Änderung	Mittel 51-80	Mittel 61-90	Mittel 71-00	Änderung
1	1,0	1,3	1,6	0,6	43,2	48,4	50,1	6,9
2	2,5	2,2	2,1	–0,4	39,5	40,1	41,3	1,8
3	5,4	5,8	6,2	0,8	39,3	46,3	48,6	9,3
4	9,3	9,1	9,7	0,4	38,9	38,6	42,9	4,0
5	13,6	13,9	14,4	0,8	53,0	58,3	52,6	–0,4
6	17,1	16,9	17,1	0,0	67,9	66,6	64,5	–3,5
7	18,3	18,8	19,2	0,9	69,6	68,7	67,5	–2,1
8	17,8	18,2	18,9	1,1	68,2	56,2	49,2	–19,0
9	14,6	14,5	14,8	0,2	43,0	50,1	58,9	15,9
10	9,8	9,8	9,9	0,1	40,8	51,4	61,0	20,2
11	4,9	4,9	5,1	0,2	58,8	55,9	52,8	–6,0
12	1,8	2,7	2,8	1,0	52,7	55,7	60,6	7,9
Jahr	9,7	9,8	10,1	0,4	615,0	636,4	650,1	35,1

Monatsmitteltemperaturen		Mittlere Monatssumme der Niederschläge	
Taunusstein Mittel 71-00	Wiesbaden Mittel 71-00	Taunusstein Mittel 71-00	Wiesbaden Mittel 71-00
0,1	1,6	64,8	50,1
0,7	2,1	55,9	41,3
4,5	6,2	62,1	48,6
7,9	9,7	55,5	42,9
12,9	14,4	58,1	52,6
15,9	17,1	63,5	64,5
18,1	19,2	74,3	67,5
17,5	18,9	51,2	49,2
13,2	14,8	63,3	58,9
8,4	9,9	71,2	61,0
3,4	5,1	63,6	52,8
1,1	2,8	76,4	60,6

10-jähr. Jahrestemperaturmittel

	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Taunusstein	8,1	8,1	8,3	8,4	9
Wiesbaden	9,6	9,5	9,8	9,9	10,5

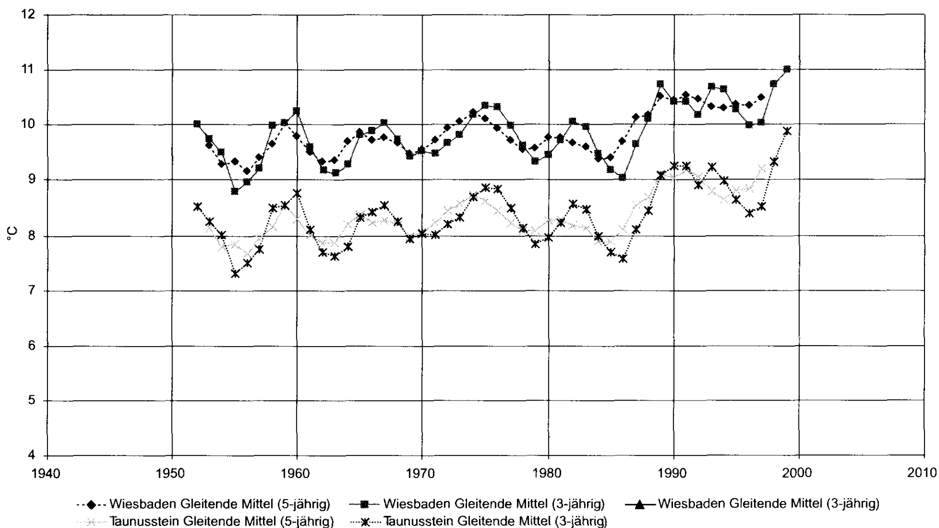


Abbildung 7: Gleitende Mittel der Lufttemperaturen Wiesbaden und Taunusstein 1951 bis 2000

Als weiteres Fazit kann also gezogen werden, dass auch auf lokaler Ebene bei genügend langen Messreihen die Effekte des Klimawandels schon gut belegt sind. Sie äußern sich nicht nur im Temperaturanstieg der letzten 14 Jahre, sondern auch in einer Umstellung der Niederschlagsverhältnisse zugunsten der Winterniederschläge.

3.3 Sind Veränderungen der biotischen Umwelt durch den Klimawandel feststellbar?

Dazu ist zunächst abzuschätzen, welche Wirkungen der Klimaänderungen überhaupt zu erwarten sind. Die möglichen Auswirkungen auf Mensch und Tier sind in Tabelle 3 dargestellt, wobei derzeit noch keine genaueren Aussagen über den zeitlichen und mengenmäßigen Umfang gemacht werden können. Auch bezüglich der Pflanzenwelt (Tabellen 4 und 5) sind die Effekte noch zu jung für detaillierte Wirkungsbeschreibungen. WITTIG & NAWRATH (2000) sagen gravierende Änderungen in der Vegetation Hessens voraus und schlagen ein gezieltes Biomonitoring-Programm vor, um für den praktischen Naturschutz sowie für Land- und Forstwirtschaft die richtigen Konsequenzen ziehen zu können. Derzeit wird von einer botanischen Arbeitsgruppe ein entsprechendes Netz von Beobachtungsflächen im Taunus vorbereitet (EHMKE 2001).

Allerdings ist eine Auswirkung auf Pflanzen bereits heute eindeutig festzustellen: die Verlängerung der Vegetationszeit bzw. die Verfrühung der phänologischen Termine. Die Pflanzen reagieren jedes Jahr mit unterschiedlichen Phänophasen

Tabelle 3: Wahrscheinliche Wirkungen des Klimawandels auf Mensch und Tiere

Klimaänderung	primäre Wirkungen	sekundäre Wirkungen
Wirkung auf die Gesundheit der Menschen		
Temperaturanstieg	Verfrühung der phänologischen Termine (**Schweiz:** Erlen b – 17 Tage, Hasel b - 31 Tage)	erhöhte Pollenbelastung für Allergiker/innen
	erhöhter Wärmestress im Sommer	Anstieg der Sterblichkeitsraten (bisher schon bei Hitzewellen in GR, NL, D: +50%)
	Zunahme von Parasiten (Mücken, Zecken usw.)	Zunahme v. Infektionen (Enzephalitis, Malaria)
	Verderben von Nahrungsmitteln	erhöhte Gefährdung durch Schimmelpilze
Zunahme der Starkregen	vermehrte Überschwemmungen	Zunahme von Infektionen
geringere Sommer-bewölkung	erhöhte UV-Strahlung	Zunahme von Hauterkrankungen, Augenentzündungen, Immunschwächen
Wirkung auf Tiere		
Temperaturanstieg	frühere Brut bei Vögeln und Amphibien frühere Futterversorgung (früheres Pflanzenwachstum)	größere Tierpopulationen Verschiebung des Artenspektrums und der Arealgrenzen (mehr wärme- u. trockenheitsliebende Arten)
	geringere Winterausfälle mehrere Bruten pro Jahr	

Tabelle 4: Wahrscheinliche indirekte Wirkungen des Klimawandels auf Pflanzen und Vegetation
Anmerkungen: bei Waldökosystemen: Temperaturanstieg um 2° lässt die Höhenstufe um 1 Stufe steigen (Fichte bleibt nur bei dauerhaften Jahrestemperaturen <9° C gesund)

Klimaänderung	primäre Wirkungen auf Pflanzen	sekundäre Wirkungen auf Pflanzen
Temperaturanstieg	Vermehrung von Schädlingen und Krankheiten beschleunigter Nährstoffkreislauf erhöhte Feuergefahr	sekundäre Artenverschiebung
Zunahme der Winterniederschläge	erhöhte Abflüsse im Winter Verringerung der Schneedecke Zunahme der Starkregenfälle Zunahme der Winterstürme	Verstärkung der Erosion vermehrte „Selbst-Renaturierung" der Gewässer Veränderung des Wasserhaushaltes Zunahme der Hochwassergefahr Veränderung des Mikroklimas

Tabelle 5: Wahrscheinliche direkte Wirkungen des Klimawandels auf Pflanzen und Vegetation

Klimaänderung	**primäre Wirkungen**	**sekundäre Wirkungen**	**tertiäre Wirkungen**
Temperaturanstieg	Steigerung der Transpiration	Beschleunigung des Wachstums	Veränderung des Konkurrenzverhaltens
	Steigerung der Fotosynthese	Erhöhung der Samenproduktion	Veränderung der Areal- und Höhengrenzen
	Erhöhung der Erschließung von Bodennährstoffen	Erhöhung des Nährstoffangebotes in den Böden	Aussterben von Kältezeigern
	Erhöhung der Evaporation	Veränderung der chem. Zusammensetzung der Pflanzen	frühere Ernten
	Verminderung von Frostschäden	Veränderte Empfindlichkeit gegen Krankheiten und Schädlinge	Veränderung des Spektrums von Parasiten und Pflanzenfressern
	Erhöhung der Feuergefahr	Verminderung der Grundwasservorräte Verlängerung der Vegetationszeit Veränderung der Humusauflage	Veränderung des Mikroklimas
CO_2-Anstieg (C ist Mangelfaktor!)	Steigerung der Fotosynthese Erhöhung des Stoffaustausches Erhöhung des Wasserbedarfs	siehe oben	siehe oben
Verminderung der Sommerniederschläge (bei erhöhten Temperaturen)	erhöhter Trockenstress im Sommer	Ausfall feuchtigkeitsliebender Pflanzen	Verschiebungen im Artenspektrum zu Trockenheitszeigern

(Termine des Blattöffnens, des Blühbeginns, der Laubverfärbung usw.) auf die jeweiligen Wärme- oder Kältesummen. Normalerweise gleichen sich frühe und späte Jahre aus; mit Beginn des Temperaturanstieges haben sich aber auch die phänologischen Termine regelmäßig verfrüht.

Die pflanzensoziologische Veränderung von ganzen Pflanzenbeständen (Ökosysteme der Wälder, Wiesen, Äcker usw.) – etwa durch das Eindringen oder Verschwinden von Arten, durch Verschiebungen der Häufigkeiten usw. – dauern wesentlich länger als die Umstellung der Phänologie und ist bisher noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen. Der einzige Bereich mit belegbaren Arealverschiebungen, die aber noch nicht mit letzter Sicherheit auf die globale Erwärmung zurückgeführt werden können, ist das aktuelle Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation in den Alpen (Grabherr, Gottfried & Pauli 1994).

Aufgrund mehrjähriger Erhebungen der Phänophasen in Taunusstein war es möglich, die dortige Verfrühung der phänologischen Jahreszeiten darzustellen Tabelle 6). Zum besseren Vergleich wurden ergänzend die Termine eines phänologischen Gartens im Tiefland (Frankfurt am Main-Bergen-Enkheim) herangezogen. Danach begann die Blüte der Frühlingszeigerpflanzen im Taunus während der letzten Jahre durchschnittlich um etwa sieben Tage früher als in der Dekade 1987–1996; in Frankfurt waren es sogar um die zehn Tage früher. (Dabei sind die unterschiedlichen Beobachtungszeiträume zu beachten.) Im Sommer und Herbst nimmt die Verfrühung in Taunusstein und Frankfurt ab und beträgt dann noch etwa vier Tage.

Es bleibt also festzuhalten, dass sich bereits jetzt die phänologischen Termine der Pflanzenwelt in unserer Region deutlich verfrüht haben. Die Phänologie bestätigt sich somit als wichtiger Indikator für Klimaänderungen. Weitere massive Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation wie das Aussterben wärmeempfindlicher Arten und Verschiebungen im Artenspektrum sind zu erwarten. Sie sollten auf Dauerbeobachtungsflächen in geeigneten Ökosystemen erfasst werden.

4 Ausblick

Und wie geht es weiter? Seriöse Prognosen gehen von einem weiteren Temperaturanstieg zwischen 0,1 und 0,4 °C alle zehn Jahre aus. Dieser Trend scheint unumkehrbar. Die oben dargestellten Folgen sind klar abzusehen. Es bleibt zu hoffen, dass alles getan wird, um die zur Genüge bekannten Verursachungen des Klimawandels auf ein noch vertretbares Maß zu reduzieren.

Tabelle 6: Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten im Taunus und im Rhein-Main-Tiefland 1982 bis 2001
Stationen Frankfurt/M.-Bergen-Enkheim und Taunusstein-Bleidenstadt. Quellen: Taunusstein nach eig. Erhebungen Frankfurt nach DWD (Met.Jahrbuch 1982 bis 97)

Phänologische Jahreszeiten	Pflanzenstadium	**mittleres Eintrittsdatum Frankfurt-Bergen-Enkheim**		**Taunusstein-Bleidenstadt**	
		1982-1986	1987-1997	1987-1996	1997-2001
1. Vorfrühling	Beginn der Schneeglöckchenblüte	2.3.	15.2.	27.2.	21.2.
2. Erstfrühling	Beginn der Forsythienblüte	2.4.	21.3.	1.4.	24.3.
3. Vollfrühling	Beginn der Apfelblüte (späte Sorten)	26.4.	23.4.	4.5.	28.4.
4. Frühsommer	Beginn der Schwarzen-Holunder-Blüte	28.5.	21.5.	3.6.	30.5.
5. Hochsommer	Beginn der Lindenblüte	21.6.	21.6.	4.7.	25.6.
6. Spätsommer	Beginn der Heidekrautblüte	2.8.	26.7.	30.7.	1.8.
7. Frühherbst	Beginn der Herbstzeitlosenblüte	16.9.	11.9.	4.9.	28.8.
8. Vollherbst	Beginn der Laubverfärbung der Rosskastanie	16.10.	14.10.	22.9.	19.9.
9. Spätherbst	Abschluss des Blattfalls der Rosskastanie	k.A.	10.11.	31.10.	29.10.
10. Frühwinter	Abschluss des Blattfalls aller laubabwerfenden Gehölze bzw. erster Schnee bzw. erster starker Frost	k.A.	k.A.	24.11.	18.11.

5 Danksagung

Herrn ULRICH STEPHAN, Wiesbaden danke ich sehr herzlich für die Bereitstellung eines Teils der Wiesbadener Witterungsdaten.

6 Literaturverzeichnis

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2001): Klimastatusbericht für 2000. – Meldung der Deutschen Presseagentur vom 11.4.2001.

EHMKE, W. (1989): Das Klima des Rheingau-Taunus-Kreises. – Heimatjb. Rheingau-Taunus-Krs., **1989**: 47–57.

EHMKE, W. (1996): Wetter und Klima in Taunusstein. – Taunusstein, **1** (Landschaft und Natur): 25–56.

EHMKE, W. (2001): Stand der floristischen Erfassung des Taunus. – Ber.Arbeitskrs.Heim.Orchid. **18** **(1)**: 220-225.

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & PAULI, H. (1994): Climate effects on mountain plants. – Nature, **369**: 448.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001): 3. Klimabericht, Genf 2001. – Meldung der Deutschen Presseagentur vom 19.2.2001.

SCHÖNWIESE, C.-D. (1995): Klimaänderungen – Daten, Analysen, Prognosen. – 224 S.; Berlin (Springer).

WITTIG, R. & NAWRATH, S. (2000): Welche Pflanzenarten und -gesellschaften Hessens sind bei einer globalen Temperaturerhöhung gefährdet? Vorschläge für ein Biomonitoring. – Geobot. Kolloq., **15**: 59–69; Frankfurt am Main.

Dr. WOLFGANG EHMKE
Lindenstr. 2
65232 Taunusstein
E-Mail: wolfgangehmke@aol.com

Manuskripteingang: 11.06.2001